

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2003-65973

(P2003-65973A)

(43) 公開日 平成15年3月5日 (2003.3.5)

(51) IntCl.<sup>7</sup>

G 0 1 N 23/04

識別記号

F I

G 0 1 N 23/04

特開2003-65973 (参考)

2 G 0 0 1

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願2001-259900 (P2001-259900)

(22) 出願日 平成13年8月29日 (2001.8.29)

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72) 発明者 石居 憲法

茨城県日立市大みか町七丁目2番1号 株

式会社日立製作所電力・電機開発研究所内

(72) 発明者 上村 博

茨城県日立市大みか町七丁目2番1号 株

式会社日立製作所電力・電機開発研究所内

(74) 代理人 100098017

弁理士 吉岡 宏嗣

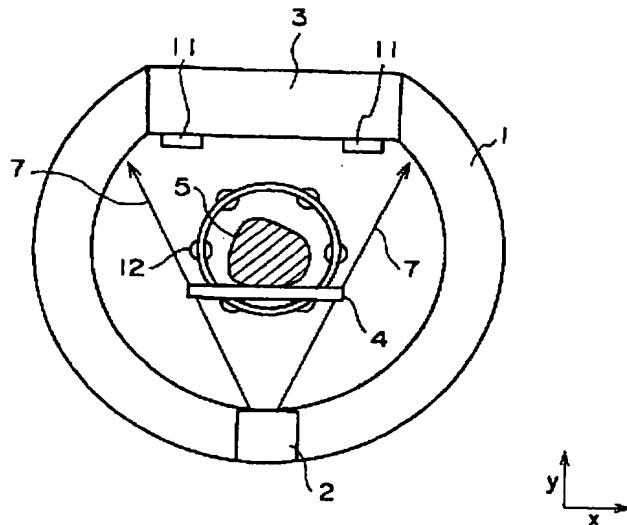
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 X線CT装置および撮影方法

(57) 【要約】

【課題】 X線源、X線検出器、撮影対象物の位置を撮影中に常に適切な位置に保持し、精度の高いCT画像を得る。

【解決手段】 X線CT装置は、撮影対象物5が載置された試料台4と、撮影対象物5に対してX線7を放射するX線源2と、X線源2から放射されたX線7を検出するX線検出器3と、撮影対象物5の回転軸を中心にして回転自在に設けられX線源2およびX線検出器3を支持するガントリ1とを備えている。このようなX線CT装置において、指標11や12によって、X線源2、X線検出器3および撮影対象物5の位置ずれを検出し、その検出結果に基づいて撮影中にX線源2やX線検出器3を3次的に移動させることにより、前記位置ずれを補正する。



1: ガントリ  
2: X線源  
3: X線検出  
4: 試料台

5: 撮影対象物  
7: X線  
11: ワイヤ  
12: 位置指標

BEST AVAILABLE COPY

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 撮影対象物が載置された試料台と、前記撮影対象物に対してX線を放射するX線源と、該X線源から放射されたX線を検出するX線検出器と、前記撮影対象物の回転軸を中心にして回転自在に設けられ前記X線源および前記X線検出器を支持する支持体と、前記X線源および前記X線検出器の位置を撮影中に3次元的に調整して、前記X線源、前記X線検出器および前記撮影対象物の位置ずれを補正する補正手段と、を備えたX線CT装置。

【請求項2】 撮影対象物が載置された試料台と、前記撮影対象物に対してX線を放射するX線源と、該X線源から放射されたX線を検出するX線検出器と、前記撮影対象物の回転軸を中心にして回転自在に設けられ前記X線源および前記X線検出器を支持する支持体と、前記X線源、前記X線検出器および前記撮影対象物の位置ずれを検出する検出手段と、前記X線源および前記X線検出器を3次元的に移動させる移動手段と、前記検出手段による検出結果に基づいて前記移動手段を撮影中に制御して、前記X線源、前記X線検出器および前記撮影対象物の位置ずれを補正する制御手段と、を備えたX線CT装置。

【請求項3】 請求項2に記載のX線CT装置において、前記検出手段として、前記X線検出器の前面には複数本のワイヤが設けられ、該ワイヤによるX線の減衰率から、前記X線源および前記X線検出器の位置ずれを検出することを特徴とするX線CT装置。

【請求項4】 請求項2に記載のX線CT装置において、前記検出手段として、前記X線源にはレーザ光源が、前記X線検出器には前記レーザ光源からのレーザ光を受光する受光部がそれぞれ設けられ、前記受光部でのレーザ光受光状況から、前記X線源および前記X線検出器の位置ずれを検出することを特徴とするX線CT装置。

【請求項5】 請求項2に記載のX線CT装置において、前記検出手段として、前記撮影対象物の周囲には、円錐形状の指標または円錐形状のくぼみを有する指標が複数取り付けられたリング状部材が設けられ、前記各指標によるX線の減衰率から、前記撮影対象物の位置ずれを検出することを特徴とするX線CT装置。

【請求項6】 請求項2に記載のX線CT装置において、前記移動手段は、前記X線源および前記X線検出器の周囲に設けられたピエゾ素子であることを特徴とするX線CT装置。

【請求項7】 請求項1又は2に記載のX線CT装置において、前記試料台のうちでX線の透過する部分は、X線の減衰

が少ない物質もしくは減衰が少ない形状に形成されていることを特徴とするX線CT装置。

【請求項8】 請求項1又は2に記載のX線CT装置において、前記X線源は、複数の電子銃と、該電子銃からの電子ビームを受けてX線を放射する1つのターゲットとを備えていることを特徴とするX線CT装置。

【請求項9】 撮影対象物に対してX線源からX線を放射し、その放射されたX線をX線検出器で検出するとともに、前記撮影対象物の回転軸を中心にして前記X線源および前記X線検出器を回転させながら、前記撮影対象物を撮影するX線CT装置による撮影方法において、前記X線源、前記X線検出器および前記撮影対象物の位置ずれを検出し、その検出結果に基づいて前記X線源、前記X線検出器および前記撮影対象物の位置を撮影中に3次元的に調整して、前記X線源、前記X線検出器および前記撮影対象物の位置ずれを補正することを特徴とするX線CT装置による撮影方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、X線源およびX線検出器を撮影対象物の周囲に回転させながら、撮影対象物の断層像を撮影するX線CT装置、およびそのX線CT装置による撮影方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】X線CT装置の概略構成を図32に示す。図33は図32のA-A線に沿った断面図である。円弧形状をなしたガントリ1の下部にはX線源2が固定され、このX線源2に対向して、ガントリ1の上部にはX線検出器3が固定されている。X線源2とX線検出器3の中間位置には試料台4が設けられ、試料台4の上には撮影対象物5が載置されている。ガントリ1は、X線源2およびX線検出器3と一体となって撮影対象物5の回転軸6を中心に回転する。X線源2からはX線7が放出され、このX線7は薄い平面状に分布したファンビームとして撮影対象物5に照射される。そして、撮影対象物5を透過したX線7は、その強度がX線検出器3によって検出され、これによって、撮影対象物5の断層像を撮影することができる。なお、X線源2、X線検出器3および撮影対象物5の位置関係は、X線CT装置の設置時に固定され、この位置関係の修正は撮影中には行われない。

【0003】一方、産業用のX線CT装置はターンテーブル方式が主流である。図34は従来の産業用高エネルギーX線CT装置の一例を示している。産業用のX線CT装置では加速器200から発生するX線ファンビーム205を撮影対象物に照射し、透過したX線をコリメータ201に設置してあるX線アレィセンサで測定する。撮影対象物はターンテーブル204に設置され、高速型の第3世代方式のCT装置ではターンテーブル204を

減衰が大きくなり画質が悪化する。X線の減衰を少なくするには高エネルギーのX線を用いなければならないが、そのためには大型の加速器と大型のコリメータが必要となる。

【0009】本発明の第一の課題は、X線源、X線検出器および撮影対象物の位置を撮影中に常に適切な位置に保持し、高い精度の撮影画像を得ることを可能にすることである。

【0010】また、本発明の第二の課題は、試料台でのX線ビームの減衰を軽減し、大型の撮影対象物でもガン

トリ方式で容易に撮影可能とすることである。

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するためには、本発明のX線CT装置は、撮影対象物が載置された試料台と、前記撮影対象物に対してX線を放射するX線源と、該X線源から放射されたX線を検出するX線検出器と、前記撮影対象物の回転軸を中心にして回転自在に設けられ前記X線源および前記X線検出器を支持する支持体と、前記X線源および前記X線検出器の位置を撮影中に3次元的に調整して、前記X線源、前記X線検出器および前記撮影対象物の位置すれが補正されることを特徴としている。

【0012】上記構成によれば、X線源およびX線検出器の位置を撮影中に3次元的に調整することにより、X線源、X線検出器および前記撮影対象物の位置すれが補正され、高い精度の撮影画像を得ることが可能となる。

【0013】より具体的には、本発明のX線CT装置は、撮影対象物が載置された試料台と、前記撮影対象物に対してX線を放射するX線源と、該X線源から放射されたX線を検出するX線検出器と、前記撮影対象物の回転軸を中心にして回転自在に設けられ前記X線源および前記X線検出器を支持する支持体と、前記X線源、前記X線検出器および前記撮影対象物の位置すれを補正する制御手段と、前記X線源および前記撮影対象物の位置すれに基づいて前記移動手段を撮影中に制御して、前記X線源、前記X線検出器および前記撮影対象物の位置すれを補正する制御手段とを備えたことを特徴としている。

【0014】上記構成によれば、撮影前または撮影中に検出手段によって、X線源、X線検出器および撮影対象物の位置すれを検出しておき、その検出結果に基づいて、制御手段は撮影中に移動手段を制御してX線源およびX線検出器の位置を調整し、X線源、X線検出器および撮影対象物の位置すれを自動的に補正する。

【0015】検出手段として、X線検出器の前には検数本のワイヤが設けられている。そして、ワイヤによるX線の減衰率から、X線源およびX線検出器の位置すれを検出することができる。

【0016】また、検出手段として、X線源にレーザ光源を、X線検出器にレーザ光源からのレーザ光を受光する受光部をそれぞれ設けることもできる。このように構

1回転（サークル）としては半分の180度分あればよい）することにより、1つの断面の画像を取得できる。加速器200とコリメータ201は支持台202で結合され、上下移動機構203により上下することにより撮影対象物の上下方向の撮影位置を変えることができる。

【0004】このようなサークル方式では、撮影対象物が回転するため、その固定を確実にする必要があるので、縦方向に長い物体や、垂直に立てられないような撮影対象物をサークル204上に設置するのは非常に困難である。さらに、極長の撮影対象物では、加速器200とコリメータ201間の距離が制限となり測定できない場合もある。最近の産業用X線CT装置の利用法として、特に自動車のエンジンブロックや、さらには自動車全体の断面撮影のニーズが高まっている。エンジンブロックや自動車のような極長の物体は図34に示すような装置では寸法の制約、設置の制約から撮影することが難しい。

【0005】なお、医療分野ではX線管を用いたガントリ方式のX線CT装置が主流であり、患者は横に寝ていっただけで、ガントリに取り付けられたX線管とセンサが患者の周りを回転することにより断面像を撮影することができ、

【発明が解決しようとする課題】ところで、X線源からのX線を最大限に利用するためにX線検出器の向きは正確にX線源の位置に向ける必要がある。さらにX線が放射状に放出される場合、X線源とX線検出器は向きだけでなく3次元的な位置が適切でなければならない。位置がずれるとX線源から検出できるX線の量が低下するた

めに、S/N比が悪くなり、撮影画像の質の低下、撮影精度の低下を招く。さらに、放出されるX線と撮影対象の相対的な回転軸は常に一定の位置になければならない。これがずれると撮影画像がぼけてしまい撮影の精度を低下させる。すなわち、X線源とX線検出器と撮影対象およびそれらの相対的な回転軸の位置は、撮影中に常に設計時に決めた位置関係になければならない。

【0007】しかしながら、上記従来のX線CT装置は撮影サークルを取得する際、X線源、X線検出器および撮影対象物を機械的に回転移動させる必要がある。このため、撮影中に機器のたわみや製作誤差に起因する相対的な位置関係の微小なずれが生じる。この位置のずれはX線放出量の低下や撮影精度が低下を引き起こす。撮影画像に高い精度を求めれば求めるほど許容できる位置関係のずれは微小になり、従来技術で撮影中のずれを常に微小に抑えることは困難である。

成すれば、受光部でのレーザ光受光状況から、X線源およびX線検出器の位置ずれを検出することができる。

【0017】さらに、検出手段として、撮影対象物の周囲には、円錐形状の指標または円錐形状のくぼみを有する指標が複数取り付けられたリング状部材が設けられている。このように構成すれば、各指標によるX線の減衰率から、撮影対象物の位置ずれを検出することができる。

【0018】移動手段は、X線源およびX線検出器の周囲に設けられた圧電素子で構成することができる。

【0019】また、本発明では、試料台のうちでX線の透過する部分は、X線の減衰が少ない物質もしくは減衰が少ない形状に形成されていることを特徴としている。このように構成すれば、試料台でのX線ビームの減衰が軽減され、大型の撮影対象物でもガントリ方式で容易に撮影することが可能となる。

【0020】また、X線源は、複数の電子銃と、該電子銃からの電子ビームを受けてX線を放射する1つのターゲットとを備えている。このように構成すれば、X線ファン角を広くすることができ、ガントリを小型化することが可能となる。

【0021】さらに、本発明は、撮影対象物に対してX線源からX線を放射し、その放射されたX線をX線検出器で検出するとともに、前記撮影対象物の回転軸を中心にして前記X線源および前記X線検出器を回転させながら、前記撮影対象物を撮影するX線CT装置による撮影方法において、前記X線源、前記X線検出器および前記撮影対象物の位置ずれを検出し、その検出結果に基づいて前記X線源、前記X線検出器および前記撮影対象物の位置を撮影中に3次元的に調整して、前記X線源、前記X線検出器および前記撮影対象物の位置ずれを補正することを特徴としている。

【0022】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態を図面に従って説明する。なお、図において、従来の技術と同一の箇所には同一の符号が記し、その詳細な説明は省略する。

【0023】図1は、本実施の形態によるX線CT装置の全体構成を示している。本実施の形態では、X線源2とX線検出器3の位置関係を計測する指標として、X線検出器3にワイヤ11、11が取り付けられ、また、試料台4には撮影対象物5の位置を計測するための位置指標12が設置されている。

【0024】また、X線源2には、図2に示すように、X線の放射スリット13が形成された面を除いて、他の全表面に複数（図2では各表面に4個ずつ）の支持部14が取り付けられている。そして、X線源2は、図3のように放射スリット13を前側にして箱形のケーシング15に収納されている。

【0025】X線源2をケーシング15に収納したと

き、X線源2表面の各支持部14は、図4に示すように、ケーシング15内壁に支持される。すなわち、支持部14は、X線源2の外表面に固定されたフリーベアリング16と、ケーシング15の内面に固定された圧電素子17からなり、圧電素子17がフリーベアリング16を押圧することにより、支持部14はケーシング15内壁に支持されている。また、圧電素子17の表面には圧力センサ18が設けられ、圧電素子17の押圧力は圧力センサ18によって検出される。

【0026】上記構成において、圧電素子17に加える電圧を変化させると、圧電素子17の伸縮量が変わる。ケーシング15はガントリ1に固定されており、圧電素子17の伸縮量をx、y、z方向で変化させることにより、X線源2はケーシング15内を3次元的に移動する。例えば、X線源2をある方向に動かしたい場合、動かす方向の圧電素子17を縮ませて、その反対方向の圧電素子17を伸ばせば、X線源2はケーシング15内をその方向へ移動する。

【0027】また、本実施の形態では、x、y、z方向の移動が瞬時に行えるように、圧電素子17は常にフリーベアリング16を押圧し、フリーベアリング16と圧力センサ18との間には隙間が生じないよう制御される。すなわち、圧力センサ18で検出する圧力値が常に0にならないよう圧電素子17を動作させる。この状態を基準状態にして、圧電素子17に印加する電圧を調整して圧電素子17の長さを変えることで、X線源2の位置を任意の位置を微調整することができる。

【0028】X線検出器3も、X線源2と同様、外表面に複数の支持部が取り付けられ、またケーシングに収納される。その様子を図5に示す。X線検出器3には、X線の入射スリット20が形成された面を除いて、他の全表面に複数（図5では左右側面に4個ずつ、上下面と裏面に6個ずつ）の支持部14が取り付けられ、X線検出器3全体が箱形のケーシング21に収納されている。支持部14の構造は図4と同じである。

【0029】上記構成においても、X線源2の場合と同様、圧電素子17に印加する電圧を調整することにより、X線検出器3をケーシング21内で任意の位置に3次元的に移動させることができる。

【0030】次に、X線源、X線検出器および撮影対象物の位置関係を正しく保つために、各機器の位置データの取得方法および位置の補正方法について説明する。X線CT撮影においては、X線源とX線検出器と撮影対象物の3者の位置関係は、それらの相対的な位置関係を保持すればよいので、X線源とX線検出器との間の位置関係、およびX線と撮影対象物との位置関係の2つの位置関係を補正すれば十分である。

【0031】まずX線源とX線検出器との位置補正について説明する。第1の方法は、図5に示すように、X線検出器3前面の入射スリット20両端前側に位置指標ワ

ワイヤ11A, 11Bを取り付け、これらワイヤ11A, 11BのX線像からX線源2とX線検出器3のずれを求める方法である。図6は入射スリット20の近傍を拡大して示した図である。ワイヤ11A, 11Bは、両端が固定金具22によりX線検出器3本体に取り付けられている。また、ワイヤ11Aは2本とも入射スリット20に対して垂直方向に配置されているが、2本のワイヤ11Bは入射スリット20に対して傾斜し、かつ傾斜方向が逆向きに配置されている。ワイヤ11A, 11Bが取り付けられたX線検出器3をガントリ1に固定した様子を図7に示す。

【0032】第2の方法は、図8に示すようにX線源2前面にレーザ光源23を、図9に示すようにX線検出器3前面にレーザ検出用CCDセンサ24をそれぞれ取り付けて、レーザの位置情報を用いてX線源2とX線検出器3の位置ずれを求める方法である。

【0033】第1の方法においては、平行に並んだ2本のワイヤ11Aはx-y方向の位置計測のために用い、互いに逆方向の傾斜した2本のワイヤ11Bはz方向の位置計測のために用いる。まず、x-y方向の位置のずれの検出について説明する。x-y方向位置指標ワイヤ11Aの正しい位置でのX線像は図10に示すようになる。横軸はX線検出器の位置、縦軸は空気層からの減衰率の逆数である。減衰率の逆数は検出するX線の量が多いほど値は大きくなる。X線源とX線検出器の間に物体があるときはその物体をX線が通過する段階で減衰するため、その部分での検出値は物体が無い部分での検出値よりも小さくなる。X線源とX線検出器が正しい位置にある場合、X線検出器の検出するX線は最大となり、減衰率の逆数の値 $f_0$ の値は、他のどのような位置関係にある場合よりも大きな値をとることになる。また、ワイヤの像の一番低い値 $f_1$ も位置がずれた場合に比べると最も高い値となる。

【0034】ところが、図11に示したようにX線源2がx方向にずれた場合、ワイヤの像の位置は図12に示すように両方とも左側、あるいは両方とも右側にずれる。この場合は、ずれた方向と逆のx方向にX線源2を動かせば正しい位置に補正できる。

【0035】また、図13に示すようにy方向にX線源2がずれた場合は、図14に示すように2つの像は元の位置の内側、あるいは外側にずれる。この場合は、像が元の位置よりも内側にずれていればX線源2を上側へ、像が外側にずれていればX線源2を下側へ動かすことで正しい位置に補正することができる。

【0036】z方向のずれに関しては互いに傾いたz方向位置指標ワイヤ11Bを用いる。この場合はワイヤの像がX線源2が下側にずれると像は元の位置よりも外側へ、X線源2が上側にずれると像はもとの位置よりも内側へずれることになるので、位置の補正はこの逆側へかければよい。これによって、X線源2とX線検出器3の

位置を常に正しい位置に保つことが可能になる。

【0037】第2の方法においては、CCDセンサ24でレーザ光の位置を計測し、それを基に補正を行う。図15に示すようにCCDセンサはレーザ光の2次元的な位置情報を同時に得ることができるので、前述した2組の位置補正ワイヤ11A, 11Bを用いて得られる情報が一度に得られることになる。補正はワイヤの像の場合と同様に、レーザ光のx方向の位置ずれによって、X線源2のx-y方向の位置の補正を行い、レーザ光のy方向位置ずれによってX線源2のz方向の位置補正を行う。

【0038】このように補正を行えば、X線源2とX線検出器3の相対的な位置関係を常に正しい位置に保つことができ、X線検出器3は常にX線を最も効率良く検出することが可能になる。

【0039】次に、撮影対象物とX線との位置関係の補正方法について説明する。以下では、X線とX線源は前述の方法によって相対的な位置補正が終了しているものとする。

【0040】本実施の形態では、図1でも示したように、撮影対象物の位置を特定するための位置指標12を用いる。この位置指標12は、図16に示すようにリング状の板30で形成され、そのリング内に撮影対象物が入るようにして試料台4に固定される。リング状の板30には、図17のような円錐形状の指標31、または図18のように円柱に円錐形状のくぼみをもった指標32が取り付けられている。指標31（又は32）は、図19に示すように、リング状にならべる際に等間隔に角度 $\theta$ でその任意の3指標の外接円が共通の点34をもつように配置する。X線面の回転中心をこの点にする。z軸方向に関しては、あわせるべきX線面の位置は図20に示すように位置指標の先端部にわずかにかかる位置におく。位置指標の像の例を図21に示す。撮影対象物を設置した状態では回転中心付近の指標の像は撮影対象物の像に隠れてしまうが、X線面が位置指標の先端部分にかかっているために、回転中心から離れたX線面の端に近い部分には複数の指標の像が写る。その像のグラフの縦軸の値はX線面が基準の位置にあるときはすべての指標に対して同一値 $f_1$ をとる。

【0041】まず、X線面のz方向のずれを補正する方法を示す。補正は像の基準位置での値 $f_1$ からのずれをみることによって行う。図20でX線面がz軸方向の負の側にずれているとよりテーパの大きい部分をX線が通過するためX線はより大きく減衰し、グラフの値は $f_1$ よりも小さな値を示す。このときはX線面をz軸の正の側へ動かして補正すればよい。X線面を補正するにはX線源とX線検出器を補正したい方向へ同時に動かす。逆にX線面がz軸方向の正の側にずれていると指標のより細い部分をX線通過するため、グラフの値は $f_1$ よりも大きな値を示す。このときはX線源とX線検出器をz軸の負

の方向へ同時に動かして補正する。位置指標として図18に示すような円柱形の物体に円錐状のくぼみのついたものを用いる場合は、像の向きとずれかたが逆になるが同様の推察がなりたつ。このようにして、X線面のz方向の位置を合わせる。

【0042】次に、x-y平面内でX線面の回転中心を位置指標から決まる回転中心34に合わせる手法について説明する。X線検出器に検出される指標の像として、外側の3つの指標の像を用い、補正量を以下のように求める。

【0043】図22にX線面と指標の像の関係を示す。補正量の算出には互いに隣接する2つの指標35およびその対角にある1つの指標36の計3つの指標の像を用いる。X線検出器には指標A、B、Cの像の位置としてx1、x2、x3の値を得たとする。X線源の位置Oを原点としてX線面内にx-y座標を張る。X線面の中心線38と水平線39との傾き角をλ、X線源と回転中心37との距離をr、X線源とX線検出器までの距離を

$$x = \left( s \sin \lambda - \tan \left( \frac{\pi}{2} - \lambda \right) s \cos \lambda \right) / \left( \frac{y' + l \sin \phi}{x' + l \cos \phi} - \tan \left( \frac{\pi}{2} - \lambda \right) \right) = f(x', y', \phi)$$

$$y = \frac{y' + l \sin \phi}{x' + l \cos \phi} f(x', y', \phi) = g(x', y', \phi)$$

である。右辺の値のうち、x'、y'、φ以外はすべて既知の値である。以下、交点の位置を表すために関数f、gを用いる。X線検出器で検出される値は直線PA'の長さであるから、指標Aに関しては、

【0047】

【数4】

$$x1 = \sqrt{f(x', y', \phi)^2 + g(x', y', \phi)^2}$$

となる。残りの2つの指標B、Cに関しては、

【0048】

【数5】

$$\phi \rightarrow \phi + \pi, \phi + \pi + \theta$$

とおきかえればよいので、それぞれ、

【0049】

【数6】

$$x2 = \sqrt{f(x', y', \phi + \pi)^2 + g(x', y', \phi + \pi)^2}$$

$$x3 = \sqrt{f(x', y', \phi + \pi + \theta)^2 + g(x', y', \phi + \pi + \theta)^2}$$

となる。X×1、x2、x3の値は計測される値であるから、3つの未知数x'、y'、φに関して3つの関係式が導出できたことになり、これらの式を連立させて解けば、未知数x'、y'、φを求めることができる。X線源の中心と指標中心の補正量は、前記の連立方程式を解いて求めたx'、y'を用いて、

【0050】

【数7】

s、指標の組の配置間隔をθとする。指標Aの像の位置A'は直線OAと、直線PA'との交点である。直線OAの方程式は

【0044】

【数1】

$$y = \frac{y' + l \sin \phi}{x' + l \cos \phi} x$$

となり、直線PA'の方程式は、

【0045】

【数2】

$$y = \tan \left( \frac{\pi}{2} - \lambda \right) (x - s \cos \lambda) + s \sin \lambda$$

となる。この2直線の交点は、

【0046】

【数3】

$$\Delta x = x' - r \cos \lambda$$

$$\Delta y = y' - r \sin \lambda$$

と算出することができる。このような手順によって算出された値Δx、Δyの分だけX線源とX線検出器の両方を移動させれば、X線面の回転中心の点37を位置指標の中心の点34に常に一致させることができ、撮影対象物との位置関係を正しい位置に保つことができる。

【0051】前述したX線源とX線検出器との間の位置関係の補正と、X線面と撮影対象との間の位置関係の補正を同時に行うことで、X線源とX線検出器および撮影対象の三者の相対的位置関係を常に正しく保つことができる。位置の補正は撮影中に行うが、位置関係の調整に用いる位置ずれデータは撮影前にあらかじめ取得しておいてもよいし、撮影中に取得してもよい。撮影中に位置ずれデータを取得する場合の方がより正確な位置ずれの補正が可能になる。

【0052】次に、本発明を産業用X線CT装置に応用した一例について説明する。

【0053】図23に示すように、ガントリ101には、X線源としての加速器100とX線検出器107が固定され、ガントリ101は図中の矢印B方向に回転する。そして、本図の状態から時計方向および反時計方向にそれぞれ90度回転することにより断層像を撮影できる。ガントリ101は支持・回転装置104a、104bで支持され、支持・回転装置104a、104bに設けられた回転ギア105a、105bにより回転駆動さ

れる。撮影対象物103は、試料台架台106で支持された試料台102上に設置される。加速器100はX線ファンビーム115を発生し、それと同期してX線検出器107内に設置されたX線アレクセンサ（本実施の形態では1024ch）で撮影対象物103を透過したX線量を測定する。すなわち、X線アレクセンサの出力は信号処理装置108に入力され、AD変換された後、コンピュータ109に伝送される。180度回転分のデータを用いてコンピュータ109で画像再構成処理を実行することにより、断層画像を表示装置110に表示する。X線の測定方法や測定データを用いた画像再構成方法は従来の技術を用いている。なお、X線ファンビーム115は加速器100の出口でコロメートされ、扇状のファンビームとなっている。断層撮影に必要なファンビームの厚さは高々数mmである。

【0054】図24は図23の側面図である。試料台102は側面から見ると試料台102aと試料台102bの2つに分割されており、加速器100から発生するX線ファンビーム115は2つの試料台の間を通過する。撮影対象物103の各部の断層撮影をするためには、ガントリ101に対して撮影対象物103の位置を変更する必要がある。試料移動装置111は撮影対象物103に固定された試料移動ロッド113を駆動することにより、本図の左右方向に撮影対象物103を移動でき、任意の位置で撮影対象物103の断層像を撮影することができる。試料位置決めレール114は撮影対象物103が移動中にずれないようにするためのレールである。

【0055】撮影対象物103の移動機構を、図25乃至図27を用いて更に詳細に説明する。図25はガントリを省略して移動機構のみを示した図である。撮影対象物103はエアクッション装置119に載せられ、試料移動装置111で試料移動ロッド113を操作することにより、図の左右方向に移動する。エアクッション装置119の外側には試料位置決めレール114が敷設され、エアクッション装置119は試料位置決めレール114により移動時のぶれが防止されている。このようにエアクッションを用いることにより、左右方向移動時の試料台102との間の抵抗が小さくなり、重量物でも容易かつ正確に移動することができる。また、撮影対象物103の荷重は、頑丈な鉄製の試料台102で支えることができる。

【0056】また、試料位置決めレール114は大きな力が掛かることはないので、比重の小さいFRP製のガイドレールで形成されている。試料台102a、102bには圧縮空気供給装置117から圧縮空気が供給され、これにより、エアクッション装置119a、119bは試料台102から浮上する。

【0057】試料台102は試料台102aと試料台102bに分割されており、この分割部に隙間があるとエアクッションの保持力がなくなるため、分割部すなわち

X線ファンビーム115の通過部分には平面保持部材116が設けられている。平面保持部材116は試料台同士の平面性を保つと同時に、エアクッション内の空気が漏れないようにしている。平面保持部材116には荷重はほとんどかからないので、比重の小さなシリコン系充填材を薄く（10mm）用いている。これにより、試料台102を分割しない場合と比較するとX線の減衰はきわめて小さくなる。

【0058】図26は試料台102を上方から見た場合を示している。ここでは撮影対象物である自動車に合わせて4つのエアクッション装置119a～119dを使用している。むろん、設置部分が異なる場所にある場合にはさらにエアクッション装置119を追加することもできる。

【0059】図27は支持機構部分の詳細を示している。試料台102には多数のピンホール122が明けられており、このピンホール122から圧縮空気が吹き出している。エアクッション装置119aの周囲にはエアクッションスカート120、121が取り付けられており、ピンホール122からの圧縮空気が空気室124に入ることによりクッションの役目をし、撮影対象物の荷重を支えている。エアクッション装置119上には試料固定具123が取り付けられており、撮影対象物に固定できるようになっている。本実施の形態では、自動車のタイヤ部分に固定する。試料台102aと試料台102bの間には前述の平面保持部材116が組み込まれており、エアクッションの移動面の平面性を保っている。

【0060】以上述べたように、本実施の形態によれば、ガントリが試料台に対して移動することなく、試料が試料台上を移動する構造となっており、試料台のX線ファンビームの透過する部分のみを、X線の減衰が少ない物質で作ることができるため、X線ファンビームの試料台での減衰を減少させることができる。

【0061】また、本実施の形態では平面保持部材116は分割された試料台の隙間を全面にわたって埋めているが、エアクッション装置119の移動する部分が試料位置決めレール114の側面に限定できるのであれば、中央部分は隙間があっても良い。このほうがさらにX線の減衰は少なくできる。

【0062】平面保持部材116はゴム系充填材やプラスチック板など比重の小さな物質で試料台との段差がなく、エアクッションの機密性確保できる材料ならば良い。

【0063】また、エアクッションの代わりに、車輪付きの台でもよい。さらに、レール上を走る車輪付き台を使用すれば、平面保持部材116は省略することができる。

【0064】次に、加速器の構成について説明する。

【0065】図30は通常の電子線加速器の構成を示している。本図では電源等は省略している。電子線加速器

では電子銃210から電子を発生させ、加速管211で電子ビーム212を加速し、電子ビーム213に当てる。電子ビーム213はX線源として加速器を使用する場合にはタングステンなどが使用される。電子ビーム213に電子ビームが当たると制動放射により、高エネルギーのX線が発生する。大型の試料を撮影するためには電子の加速電圧も1MeVよりは6MeV、12MeV等高くする方が望ましい。しかしながら、加速電圧を上げると制動X線の前方向散乱が強くなり、発生X線強度の角度依存性が大きくなる。

【0066】図31はX線強度の角度依存性を示している。0度は電子ビームの方向である。X線エネルギーが12MeVの場合、使用できる角度は $2\theta = 30$ 度程度である。図23でわかるようにX線ファンビームの角度が広くなれば、それだけ、ガントリの直径を小さくすることができる。ガントリの直径を小さくすることはガントリ重量の低減、駆動機構の低コスト化につながる。さらにはCT装置を設置する放射線遮蔽建家を小さくすることができるので、システム全体の低コスト化につながる。

【0067】そこで、本実施の形態における加速器は、図28のように構成されている。2つの電子銃130、131が加速管132に接続されている。電子銃130、131のそれぞれから発生する電子ビーム133a、133bは、ターゲット134に垂直からそれぞれ15度ずつずれた角度で入射する。この方法によれば、発生するX線強度は2つの電子ビームにより発生するX線強度の和となる。2つの電子ビームは同期して発生させるので直流電源や高周波電源などのその他の加速器付属装置は1台でよい。

【0068】図29に本実施の形態による発生X線強度の角度依存性を示す。電子銃130により発生するX線ビームプロファイル136は+方向に、電子銃131により発生するX線ビームプロファイル135は-方向にずれる。したがって、双方の和となるX線ビームプロファイル137は中心で、よりフラットな強度分布を示す。その結果、実効的なX線ファンビーム角度はほぼ60度まで増加させることができる。

【0069】以上述べたようにX線源である加速器の電子ビームを2本とし、それぞれの電子ビームの入射角度を変えてX線発生用ターゲットへ入射させる構造とすることにより、X線ファンビーム角度を広げることができ、ガントリの直径を小さくできる効果がある。

【0070】電子ビームの本数は3本以上とすることも可能であるが、実用的には2本で十分である。

【0071】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、X線源やX線検出器に常にその最大性能を発揮させ、精度の高いCT画像を得ることが可能になる。

【0072】また、試料台でのX線ビームの減衰が軽減

され、大型の撮影対象物でもガントリ方式で容易に撮影可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係るX線CT装置の概略構成図である。

【図2】X線源の斜視図である。

【図3】X線源をケーシングに収納したときの斜視図である。

【図4】支持部の拡大図である。

【図5】X線検出器をケーシングに収納したときの斜視図である。

【図6】X線検出器の入射スリット部分の拡大図である。

【図7】X線源とX線検出器の位置指標との関係を示した図である。

【図8】位置計測用レーザ光源を備えたX線源の斜視図である。

【図9】レーザ感知用CCDセンサを備えたX線検出器の斜視図である。

【図10】位置指標ワイヤの像を示した図である。

【図11】X線源とX線検出器が相対的にX方向にずれた場合の位置関係を示した図である。

【図12】X線源とX線検出器が相対的にX方向にずれた場合のワイヤの像を示した図である。

【図13】X線源とX線検出器が相対的にY方向にずれた場合の位置関係を示した図である。

【図14】X線源とX線検出器が相対的にY方向にずれた場合のワイヤの像を示した図である。

【図15】CCDセンサによるレーザ光の位置データを示した図である。

【図16】撮影対象物位置指標を設置したときの斜視図である。

【図17】円錐形状の撮影対象物位置指標の斜視図である。

【図18】円錐形状のくぼみを有する撮影対象物位置指標の斜視図である。

【図19】撮影対象物位置指標の配置例を示した図である。

【図20】撮影対象物位置指標とX線面の位置関係を示した図である。

【図21】撮影対象物位置指標の像を示した図である。

【図22】位置補正量と指標の像データとの関連を示した図である。

【図23】本発明を応用した産業用X線CT装置の全体構成図である。

【図24】図23に示した産業用X線CT装置の側面図である。

【図25】試料台および試料移動装置の構成を示した図である。



【図26】試料台の平面図である。

【図27】試料台の部分断面図である。

【図28】本発明における加速器の構造を示した図である。

【図29】図28の加速器における発生X線強度の角度分布を示した図である。

【図30】従来の加速器の構造を示した図である。

【図31】従来技術の加速器における発生X線強度の角度分布を示した図である。

【図32】従来のX線CT装置の全体構成図である。

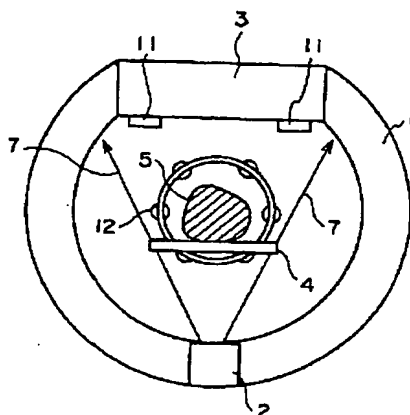
【図33】図23に示したX線CT装置の側面図である。

【図34】従来の産業用X線CT装置の構成を示した図である。

【符号の説明】

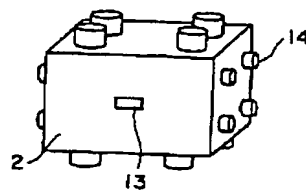
- |                  |                     |
|------------------|---------------------|
| 1 ガントリ           | 30 リング状の板           |
| 2 X線源            | 31, 32 指標           |
| 3 X線検出器          | 100 加速器             |
| 4 試料台            | 101 ガントリ            |
| 5 撮影対象物          | 102 試料台             |
| 7 X線             | 103 撮影対象物           |
| 11, 11A, 11B ワイヤ | 104 支持・回転装置         |
| 12 位置指標          | 105 回転ギア            |
| 14 支持部           | 106 試料台架台           |
| 15 ケーシング         | 107 X線検出器           |
| 16 フリーベアリング      | 108 信号処理装置          |
| 17 ピエゾ素子         | 109 コンピュータ          |
| 18 圧力センサ         | 110 表示装置            |
| 23 レーザ光源         | 111 試料移動装置          |
| 24 レーザ検出用CCDセンサ  | 113 試料移動ロッド         |
|                  | 114 試料位置決めレール       |
|                  | 115 X線ファンビーム        |
|                  | 116 平面保持部材          |
|                  | 117 圧縮空気供給装置        |
|                  | 118 圧力ホース           |
|                  | 119 エアクッション装置       |
|                  | 120, 121 エアクシヨンスカート |
|                  | 122 ピンホール           |
|                  | 123 試料固定具           |
|                  | 124 空気室             |
|                  | 130, 131 電子銃        |
|                  | 132 加速管             |
|                  | 133 電子ビーム           |
|                  | 134 ターゲット           |

【図1】

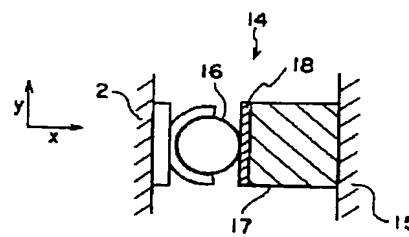


- |         |          |
|---------|----------|
| 1: ガントリ | 5: 撮影対象物 |
| 2: X線源  | 7: X線    |
| 3: X線検出 | 11: ワイヤ  |
| 4: 試料台  | 12: 位置指標 |

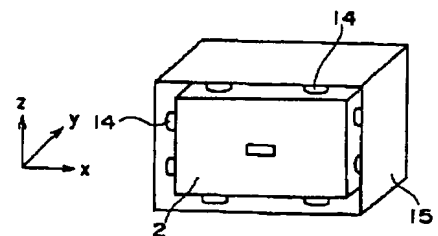
【図2】



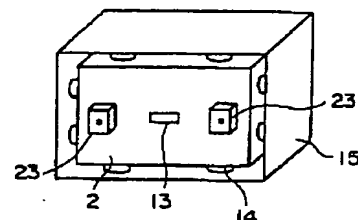
【図4】



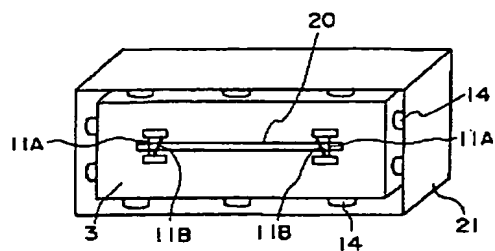
【図3】



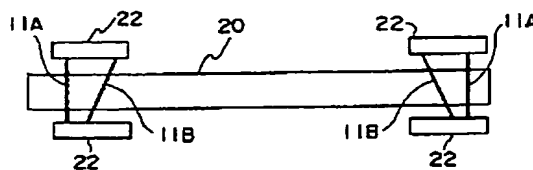
【図8】



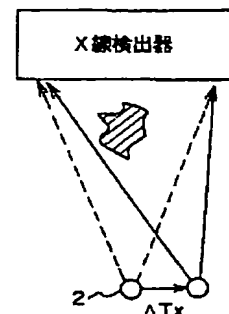
【図5】



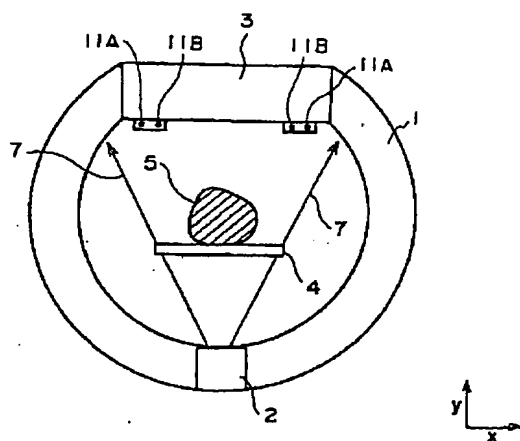
【図6】



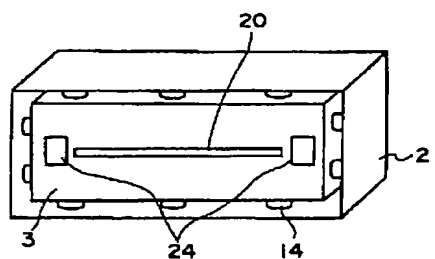
【図11】



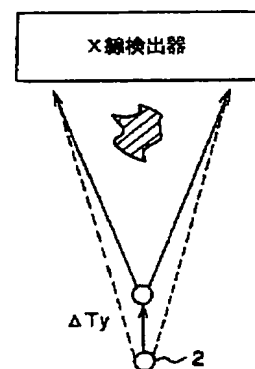
【図7】



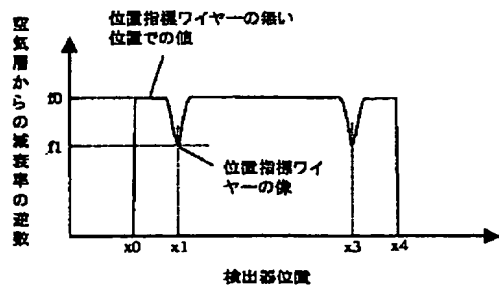
【図9】



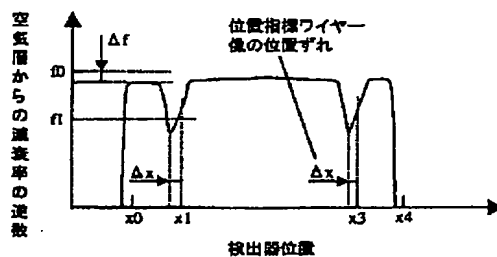
【図13】



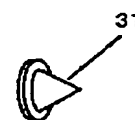
【図10】



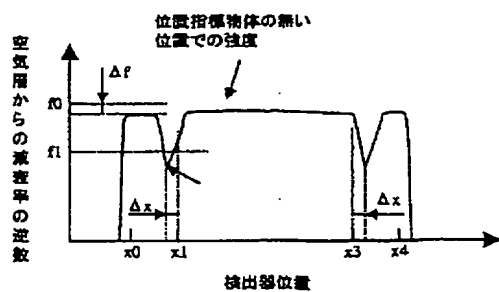
【図12】



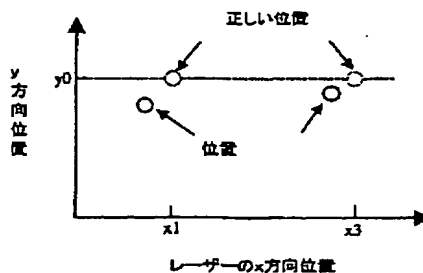
【図17】



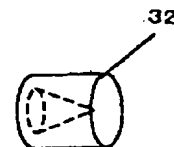
【図14】



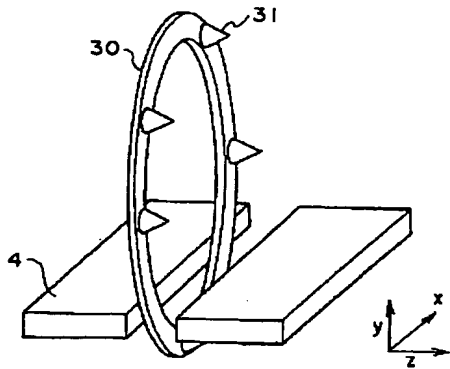
【図15】



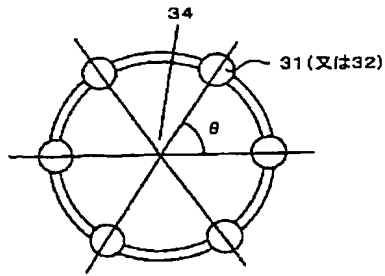
【図18】



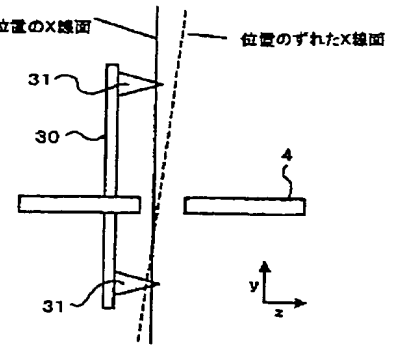
【図16】



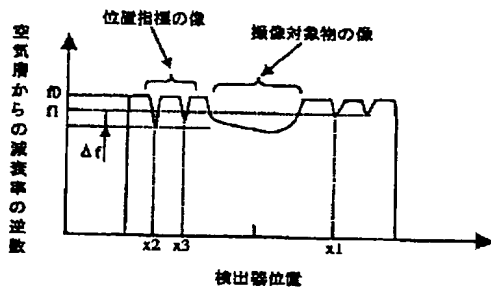
【図19】



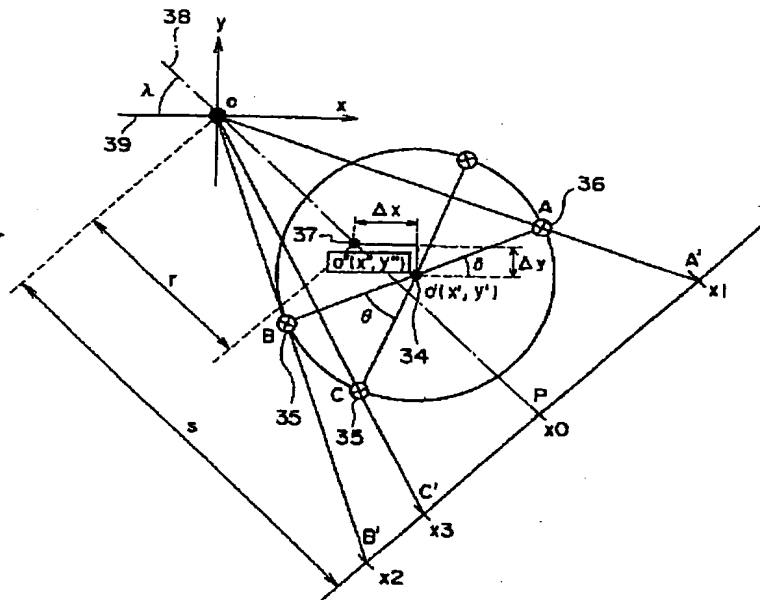
【図20】



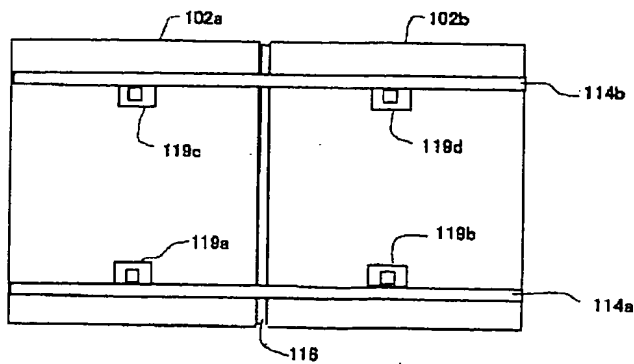
【図21】



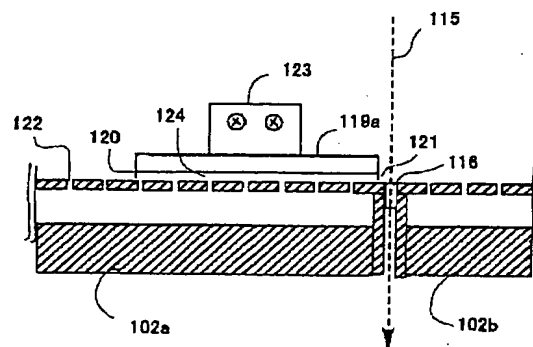
【図22】



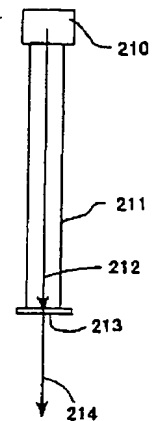
【図26】



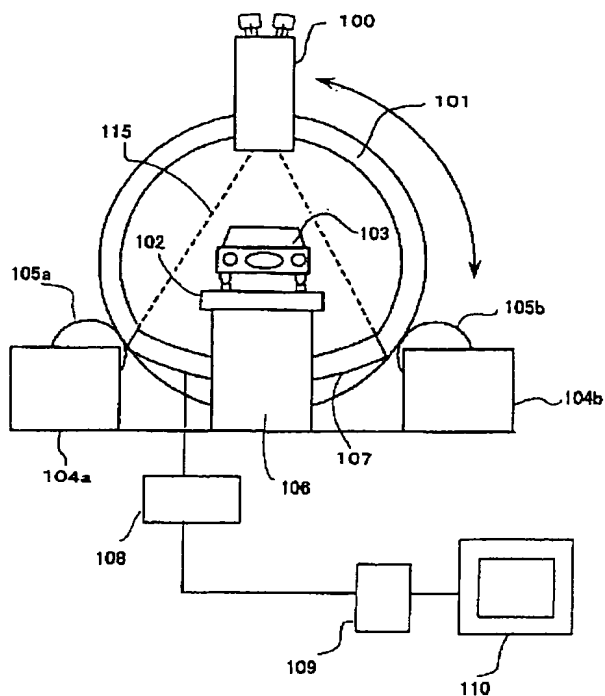
【図27】



【図30】

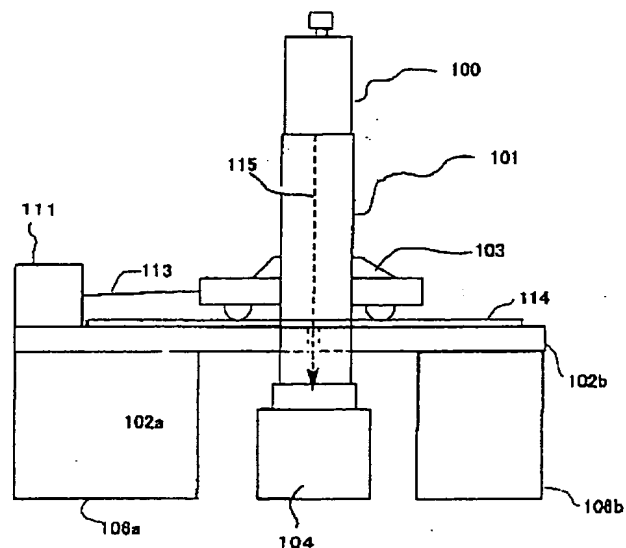


【図23】

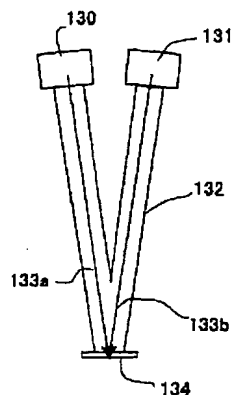


- 100: 加速器  
101: ガントリ  
102: 試料台  
103: 撮影対象物  
104: 支持・回転装置  
105: 回転ギア  
106: 試料台兼台  
107: X線検出器  
108: 信号処理装置  
109: コンピュータ  
110: 表示装置

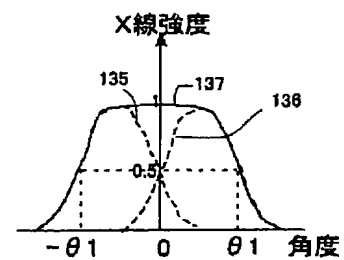
【図24】



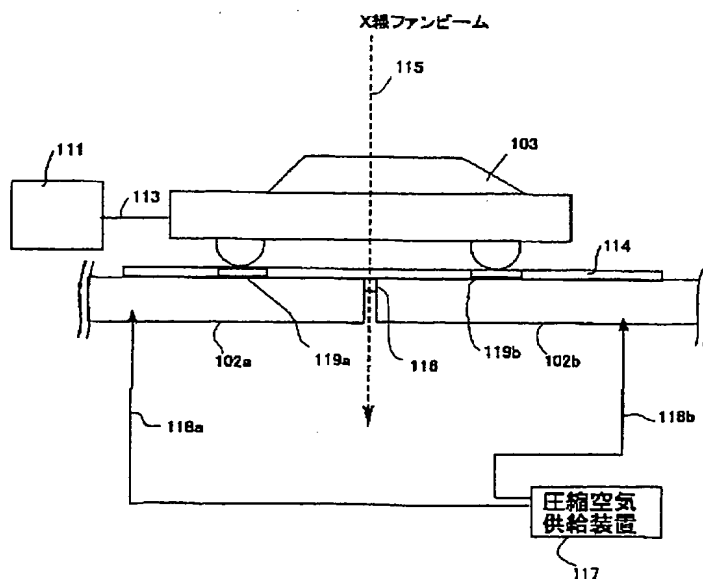
【図28】



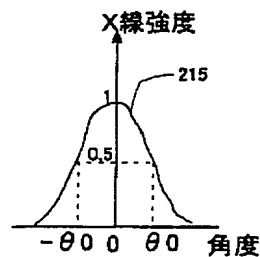
【図29】



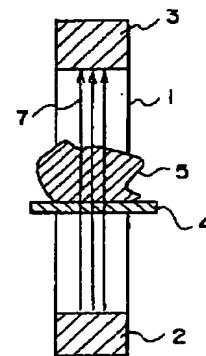
【図25】



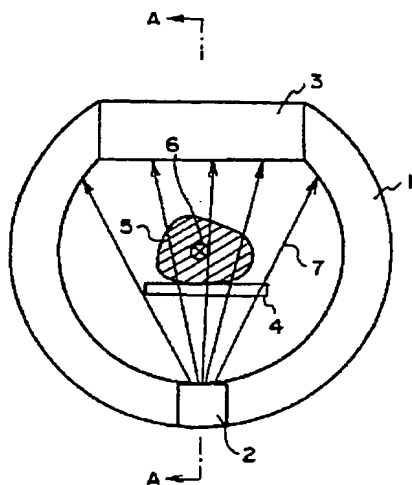
【図31】



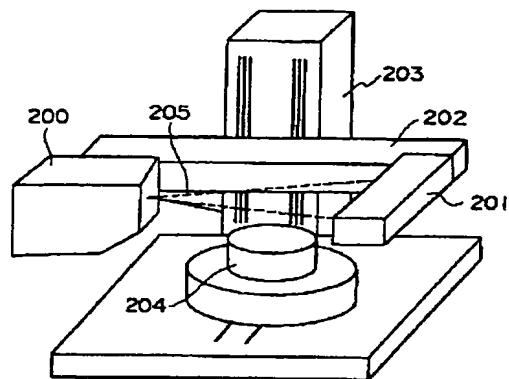
【図33】



【図32】



【図34】



フロントページの続き

Fターム(参考) 2G001 AA01 AA07 BA11 CA01 CA07  
CA10 FA11 HA08 HA13 JA01  
JA06 JA09 KA03 PA11

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☒ **BLACK BORDERS**

☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**

☐ **FADED TEXT OR DRAWING**

☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**

☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**

☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**

☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**

☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**

☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**

☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**